

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/004097

International filing date: 09 March 2005 (09.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-158454
Filing date: 27 May 2004 (27.05.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 28 April 2005 (28.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 5 月 2 7 日
Date of Application:

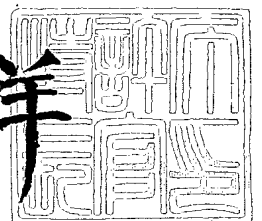
出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 1 5 8 4 5 4
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 1 5 8 4 5 4]

出 願 人 京セラ株式会社
Applicant(s):

2 0 0 4 年 1 2 月 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願
【整理番号】 0000351871
【提出日】 平成16年 5月27日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 41/08
【発明者】
 【住所又は居所】 鹿児島県国分市山下町 1 番 1 号 京セラ株式会社鹿児島国分工場内
 【氏名】 寺園 正喜
【特許出願人】
 【識別番号】 000006633
 【住所又は居所】 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地
 【氏名又は名称】 京セラ株式会社
 【代表者】 西口 泰夫
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 005337
 【納付金額】 16,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

少なくとも 1 つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極の面積に対して 5 ～ 70 % を占める空隙を前記内部電極中に設けたことを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項 2】

前記空隙の最大幅が $1\ \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の積層型圧電素子。

【請求項 3】

前記内部電極における電極部分と空隙との界面が圧電体に接する部分を起点とし、該起点から前記電極部分への接線と前記圧電体とのなす角度が 60 度以上であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の積層型圧電素子。

【請求項 4】

前記内部電極中の金属組成物が 8 ～ 10 族金属および／または 11 族金属を主成分とすることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項 5】

前記内部電極中の 8 ～ 10 族金属の含有量を $M1$ (質量%)、11 族金属の含有量を $M2$ (質量%) としたとき、 $0 < M1 \leq 15$ 、 $85 \leq M2 < 100$ 、 $M1 + M2 = 100$ を満足することを特徴とする請求項 4 に記載の積層型圧電素子。

【請求項 6】

前記 8 ～ 10 族金属が Ni 、 Pt 、 Pd 、 Rh 、 Ir 、 Ru 、 Os のうち少なくとも 1 種以上であり、11 族金属が Cu 、 Ag 、 Au のうち少なくとも 1 種以上であることを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の積層型圧電素子。

【請求項 7】

前記 8 ～ 10 族金属が Pt 、 Pd のうち少なくとも 1 種以上であり、11 族金属が Ag 、 Au のうち少なくとも 1 種以上であることを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項 8】

前記 8 ～ 10 族金属が Cu であることを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項 9】

前記 8 ～ 10 族金属が Ni であることを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項 10】

前記内部電極に前記内部電極を構成する材質と濡れ性の悪い無機組成物を添加したことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項 11】

前記無機組成物が BN を主成分とすることを特徴とする請求項 10 に記載の積層型圧電素子。

【請求項 12】

前記圧電体がペロブスカイト型酸化物を主成分とすることを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項 13】

前記圧電体が $\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$ からなるペロブスカイト型酸化物を主成分とすることを特徴とする請求項 12 に記載の積層型圧電素子。

【請求項 14】

前記積層体の側面に端部が露出する前記内部電極と端部が露出しない前記内部電極とが交互に構成されており、前記端部が露出していない前記内部電極と前記外部電極間の前記圧電体部分に溝が形成されており、該溝に前記圧電体よりもヤング率の低い絶縁体が充填さ

れていることを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項 15】

少なくとも 1 つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる圧電体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子の製造方法において、前記内部電極を 2 種以上の混合材料で構成し、該混合材料を最も低い融点以上で、且つ他の材料の融点以下の温度で仮焼した後に、本焼成する工程を含むことを特徴とする積層型圧電素子の製造方法。

【請求項 16】

噴射孔を有する収納容器と、該収納容器に収納された請求項 1 乃至 14 のいずれかに記載の積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備してなることを特徴とする噴射装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】積層型圧電素子およびその製造方法ならびにこれを用いた噴射装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、積層型圧電素子および噴射装置に関し、例えば、自動車エンジンの燃料噴射装置、インクジェット等の液体噴射装置、光学装置等の精密位置決め装置や振動防止装置等に搭載される駆動素子、ならびに燃焼圧センサ、ノックセンサ、加速度センサ、荷重センサ、超音波センサ、感圧センサ、ヨーレートセンサ等に搭載されるセンサ素子、ならびに圧電ジャイロ、圧電スイッチ、圧電トランス、圧電ブレーカー等に搭載される回路素子に用いられる積層型圧電素子および噴射装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来より、積層型圧電素子を用いたものとしては、圧電体と内部電極を交互に積層した積層型圧電アクチュエータが知られている。積層型圧電アクチュエータには、同時焼成タイプと、圧電磁器と内部電極板を交互に積層したスタックタイプの2種類に分類されており、低電圧化、製造コスト低減の面から考慮すると、薄膜化に対して有利であることと、耐久性に対して有利であることから、同時焼成タイプの積層型圧電アクチュエータが優位性を示しつつある。

【0003】

図5(a)は、従来の積層型圧電素子53を示すもので、圧電体51と内部電極52が交互に積層されて積層体53が形成され、その積層方向における両端面には不活性層55が積層されている。内部電極52はその一方の端部が積層体53の側面に左右交互に露出しており、この内部電極52の端部が露出した積層体53の側面に、外部電極70が形成されている。内部電極52の他方の端部は絶縁体61により被覆され、外部電極70とは絶縁されている。そして積層型圧電アクチュエータとして使用する場合には、外部電極70にさらにリード線72を半田により接続固定されていた。

【0004】

このような積層型圧電素子の製造方法としては、圧電体51となるセラミックグリーンシートに内部電極52となる内部電極ペーストを所定の電極構造となるようなパターンで印刷し、この内部電極ペーストが塗布されたグリーンシートを複数積層して得られた積層成形体を作製し、これを焼成し、側面に外部電極70となる導電性ペーストを焼き付けることによって、積層型圧電素子を作製していた(例えば、特許文献1参照)。

【0005】

このような積層型圧電素子は、一般的には圧電体51と内部電極52が交互に積層されて積層体53が形成され、その内部電極52は図5(b)で示すように内部電極中には空隙が存在しない構造となっている。また、積層セラミックコンデンサの分野では、特許文献2に示すように、誘電体層と内部電極層の界面で誘起された応力を緩和して、耐基板曲げ性等の信頼性に優れ、電気特性の安定性と高性能の品質を有する積層セラミックコンデンサを提供するために内部電極52の端部に空隙を設けることを提案している。

【0006】

なお、内部電極52としては、銀とパラジウムの合金が用いられ、さらに、圧電体51と内部電極52を同時焼成するために、内部電極52の金属組成は、銀70質量%、パラジウム30質量%にして用いていた(例えば、特許文献3参照)。

【特許文献1】特開昭61-133715号公報

【特許文献2】特開2002-231558号公報

【特許文献3】実開平1-130568号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、近年においては、小型の圧電アクチュエータで大きな圧力下において大きな

変位量が生じることが求められている。

【0008】

ここで、積層型圧電素子は通常の積層型電子部品（例えば積層型セラミックコンデンサ）と異なり、通電に伴い電界が印加されると圧電体 51 の磁器が大きく変形（変位）する特徴がある。また、駆動回数と圧電体 51 の磁器変形回数が同じである。

【0009】

このように、変位を伴う積層型圧電素子では、内部電極の耐久性を維持する目的で、内部電極を緻密構造にしていた。しかしながら、内部電極を緻密な構造にすると、変位する圧電体を拘束する作用を及ぼすため、近年求められているような大きな変位量を効率良く得ることが難しかった。

【0010】

そこで、本発明者は、敢えて内部電極に空隙を設け、積層型圧電素子の変位量の改善を試みた。その結果、内部電極に空隙を設けることにより、変位量が格段に向上することを見出した。また同時に、これまでの考え方と異なり、耐久性が向上することも見出した。

【0011】

そこで、本発明は、高電圧、高圧力下で圧電アクチュエータを駆動させた場合に変位量と耐久性に優れた積層型圧電素子およびその製造方法ならびにこれを用いた噴射装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上述の課題に鑑み、本発明の積層型圧電素子は、少なくとも 1 つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極の面積に対して 5 ～ 70 % を占める空隙を内部電極中に設けたことを特徴とする。

【0013】

本発明の積層型圧電素子は、前記空隙の最大幅が $1\ \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。

【0014】

本発明の積層型圧電素子は、内部電極における電極部分と空隙との界面が圧電体に接する部分を起点とし、該起点から前記電極部分への接線と前記圧電体とのなす角度が 60° 以上であることを特徴とする。

【0015】

本発明の積層型圧電素子は、前記内部電極中の金属組成物が 8 ～ 10 族金属および／または 11 族金属を主成分とすることを特徴とする。

【0016】

本発明の積層型圧電素子は、前記内部電極中の 8 ～ 10 族金属の含有量を $M1$ （質量％）、11 族金属の含有量を $M2$ （質量％）としたとき、 $0 < M1 \leq 15$ 、 $85 \leq M2 < 100$ 、 $M1 + M2 = 100$ を満足することを特徴とする。

【0017】

本発明の積層型圧電素子は、前記 8 ～ 10 族金属が Ni 、 Pt 、 Pd 、 Rh 、 Ir 、 Ru 、 Os のうち少なくとも 1 種以上であり、11 族金属が Cu 、 Ag 、 Au のうち少なくとも 1 種以上であることを特徴とする。

【0018】

本発明の積層型圧電素子は、前記 8 ～ 10 族金属が Pt 、 Pd のうち少なくとも 1 種以上であり、11 族金属が Ag 、 Au のうち少なくとも 1 種以上であることを特徴とする。

【0019】

本発明の積層型圧電素子は、前記 8 ～ 10 族金属が Cu であることを特徴とする。

【0020】

本発明の積層型圧電素子は、前記 8 ～ 10 族金属が Ni であることを特徴とする。

【0021】

本発明の積層型圧電素子は、前記内部電極に前記内部電極を構成する材質と濡れ性の悪い無機組成物を添加したことを特徴とする。

【0022】

本発明の積層型圧電素子は、前記無機組成物がBNを主成分とすることを特徴とする。

【0023】

本発明の積層型圧電素子は、前記圧電体がペロブスカイト型酸化物を主成分とすることを特徴とする。

【0024】

本発明の積層型圧電素子は、前記圧電体が $PbZrO_3 - PbTiO_3$ からなるペロブスカイト型酸化物を主成分とすることを特徴とする。

【0025】

本発明の積層型圧電素子は、前記積層体の側面に端部が露出する前記内部電極と端部が露出しない前記内部電極とが交互に構成されており、前記端部が露出していない前記内部電極と前記外部電極間の前記圧電体部分に溝が形成されており、該溝に前記圧電体よりもヤング率の低い絶縁体が充填されていることを特徴とする。

【0026】

本発明の積層型圧電素子の製造方法は、少なくとも1つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる圧電体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一对の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子の製造方法において、前記内部電極を2種以上の混合材料で構成し、該混合材料を最も低い融点以上で、且つ他の材料の融点以下の温度で仮焼した後に、本焼成する工程を含むことを特徴とする。

【0027】

本発明の噴射装置は、噴射孔を有する収納容器と、該収納容器に収納された請求項1乃至15のうちいずれかに記載の積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備してなることを特徴とする。

【発明の効果】

【0028】

このように、本発明の積層型圧電素子は、少なくとも1つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一对の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極の面積に対して5～70%を占める空隙を内部電極中に設けることで、圧電体が電界によって変形する時に内部電極によって拘束される力が弱まり、圧電体が比較的容易に変形できるために変位量が向上し、また内部電極に発生する応力も低減されることから耐久性にも優れたものとなる。また、前記積層型圧電素子を搭載することにより高信頼性を有する噴射装置を提供することができる。

【0029】

さらに、内部電極の空隙の最大幅を $1\mu m$ 以上としたり、内部電極における電極部分と空隙との界面が圧電体に接する部分を起点とし、該起点から前記電極部分への接線と前記圧電体とのなす角度を60度以上とすることで、前記内部電極が圧電体を拘束する力が小さくなり圧電体の変形しやすくなるので、さらに変位量を大きくでき発生する応力も低減できるので変位量と耐久性に優れた積層型圧電素子を有する噴射装置を提供できる。

【0030】

尚、上述の構成に加えて、前記内部電極中の金属組成物を8～10族金属および/または11族金属を主成分とすることにより、前記圧電体を構成するセラミックスと濡れ性が悪いため、前記内部電極中に効率よく前記空隙を形成できるとともに、積層型圧電素子を連続運転させても、マイグレーション現象を減少できるので耐久性が向上する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

図1は本発明の積層型圧電素子の一実施例を示すもので、(a)は斜視図、(b)は断

面図である。また図 2 は、図 1 の積層型圧電素子の内部電極付近の一部断面の拡大図である。

【0 0 3 2】

本発明の積層型圧電素子 1 0 は、図 1 に示すように、圧電体 1 と内部電極 2 とを交互に積層してなる積層体の一对の対向側面において、内部電極 2 が露出した端部と、一層おきに電氣的に導通する一对の外部電極 4 が接合されている。さらに、積層型圧電素子 1 0 の両端には不活性層 9 設けられている。ここで、本発明の積層型圧電素子 1 0 を積層型圧電アクチュエータとして使用する場合には、外部電極 4 にリード線 6 を半田により接続固定し、前記リード線 6 を外部電圧供給部に接続すればよい。

【0 0 3 3】

内部電極 2 は銀—パラジウム等の金属材料で形成しているので、内部電極 2 を通じて各圧電体 1 に所定の電圧を印加し、圧電体 1 を逆圧電効果による変位を起こさせる作用を有する。

【0 0 3 4】

そして本発明の積層型圧電素子 1 0 では、本発明者が鋭意検討の結果、図 2 に示すように圧電体 1 間の内部電極 2 中に空隙 2 0 を設けるとともに、該空隙 2 0 を内部電極 2 の面積に対して 5 ~ 7 0 % 占めるようにすると、変位量が大きくなり、変位量に優れた積層型圧電素子を得ることができるのを見出したものである。

【0 0 3 5】

内部電極 2 に空隙 2 0 の無い従来のタイプでは、電界を受けて圧電体 1 が変形する際に、内部電極 2 からの束縛を受けやすいため、変形量が小さくなり、十分な積層型圧電素子の変位量を得ることができなかった。

【0 0 3 6】

これに対して、本発明の内部電極 2 中に空隙 2 0 がある積層型圧電素子は、圧電体の変形が自由になり、従来に比べて変形量が大きくなる。

【0 0 3 7】

ここで、上述した内部電極 2 の面積に対する空隙の占める割合（空隙率）について説明する。空隙率は積層型圧電素子を積層方向に切断した面で測定する。その切断面において、内部電極の部分に存在する空隙の面積を測定し、その空隙の面積の総和を内部電極 2 の面積（空隙も含む）で除した値を 1 0 0 倍したものである。

【0 0 3 8】

また、空隙率が 5 % より少ないと圧電体 1 が電界を印加されて変形する際に内部電極 2 から束縛を受け、圧電体 1 の変形が抑制され、積層型圧電素子の変形量が小さくなる。また、発生する内部応力も大きくなるために耐久性にも悪い影響を与える。

【0 0 3 9】

一方、空隙率が 7 0 % より大きいと、空隙 2 0 間の電極部分 2 a に極端に細い部分が生じる為、内部電極 2 自体の強度が低下し、内部電極 2 にクラックが生じやすくなり、最悪は断線等を生じる恐れがあるので好ましくない。併せて、内部電極 2 の導電性が低下するため、圧電体 1 に電圧を印加し難くなり、十分な変位量を得られない場合がある。

【0 0 4 0】

尚、図 2 に示すように、空隙 2 0 は電極部分 2 a 間に設けたものだけではなく、電極部分 2 a の内部に包含されたような状態で存在しても良い。

【0 0 4 1】

さらに、前記空隙率は、より好ましくは 7 ~ 7 0 % 、さらに好ましくは 1 0 ~ 6 0 % である。このようにすることで、圧電体 1 をよりスムーズに変形できるとともに、内部電極 2 の導電性を十分に有しているため、積層型圧電素子 1 0 の変位量を増大することができる。

【0 0 4 2】

また、空隙 2 0 の断面における最大幅が 1 μ m 以上であることが好ましい。以下で述べる最大幅とは、積層型圧電素子の積層方向の断面において、内部電極の断面に存在する空

隙の大きさを電極に平行な線を引きその線上の長さを測定し、測定値で最大の値を最大幅とした。さらに、空隙 20 の最大幅は、変位量を大きくできるということと、内部応力を軽減し、耐久性を向上するという観点から、 $2\mu\text{m}$ がより好ましく、 $3\mu\text{m}$ がさらに好ましい。

【0043】

また、前記内部電極 2 断面において電極部分 2 a と空隙 20 の界面が圧電体 1 に接する部分を起点とする電極部分 2 a への接線 22 と圧電体 1 とのなす角度 24 が 60° 以上であることが好ましい。この角度 24 は、図 2 に示すように、積層型圧電素子の積層方向の断面において、電極部分 2 a と空隙 2 の界面が圧電体 1 と接する点を起点とし、電極部分 2 a に接するように線を引き、この接線 22 と圧電体 1 とのなす角度 24 で表される。

【0044】

ここで、角度 24 が 60° 未満であると、内部電極 2 中の電極部分 2 a が圧電体 1 と接してできるメニスカスの部位が大きくなるため、内部電極 2 が圧電体 1 を拘束する力が大きくなり、変位量が低下する可能性がある。さらに、角度 24 は、内部電極 2 が圧電体 1 を拘束する力が小さくなるという理由で変位量を大きくできること、内部応力を小さくし、耐久性を向上させるという観点から、 70° 以上がより好ましく、 80° 以上であることがさらに好ましい。

【0045】

さらに、内部電極 2 中の金属組成物が 8～10 族金属および／または 11 族金属を主成分とすることが望ましい。これは、上記の金属組成物は高い耐熱性を有するため、焼成温度の高い圧電体 1 と内部電極 2 を同時焼成することも可能である。また、圧電体 1 と濡れ性が悪いため、圧電体 1 と内部電極 2 との界面に空隙が発生しやすくなり、それらを積層して焼成すると、比較的高い空隙を有する内部電極 2 を形成することができる。

【0046】

さらに、内部電極 2 中の金属組成物が 8～10 族金属の含有量を M1 (質量%)、11 族金属の含有量を M2 (質量%) としたとき、 $0 < M1 \leq 15$ 、 $85 \leq M2 < 100$ 、 $M1 + M2 = 100$ を満足する金属組成物を主成分とすることが好ましい。これは、8～10 族金属が 15 質量%を超えると、内部電極 2 の比抵抗が大きくなり、積層型圧電素子を連続駆動させた場合、内部電極 2 が発熱する場合があるからである。また、内部電極 2 中の 11 族金属の圧電体 1 へのマイグレーションを抑制するために、8～10 族金属が 0.001 質量%以上 15 質量%以下とすることが好ましい。また、積層型圧電素子 10 の耐久性を向上させるという点では、0.1 質量%以上 10 質量%以下が好ましい。また、熱伝導に優れ、より高い耐久性を必要とする場合は 0.5 質量%以上 10 質量%以下がより好ましい。また、さらに高い耐久性を求める場合は 1 質量%以上 8 質量%以下がさらに好ましい。

【0047】

ここで、11 族金属が 85 質量%未満になると、内部電極 2 の比抵抗が大きくなり、積層型圧電素子 10 を連続駆動させた場合、内部電極 2 が発熱する場合があるからである。また、内部金属 2 中の 11 族金属の圧電体 1 へのマイグレーションを抑制するために、11 族金属が 85 質量%以上 99.999 質量%以下とすることが好ましい。また、積層型圧電素子 10 の耐久性を向上させるという点では、90 質量%以上 99.9 質量%以下が好ましい。また、より高い耐久性を必要とする場合は 90.5 質量%以上 99.5 質量%以下がより好ましい。また、さらに高い耐久性を求める場合は 92 質量%以上 98 質量%以下がさらに好ましい。

【0048】

上記の内部電極 2 中の金属成分の質量%を示す 8～10 族金属、11 族金属は EPMA (Electron Probe Micro Analysis) 法等の分析方法で特定できる。

【0049】

さらに、本発明の内部電極 2 中の金属成分は、8～10 族金属が Ni、Pt、Pd、R

h、Ir、Ru、Osのうち少なくとも1種以上であり、11族金属がCu、Ag、Auのうち少なくとも1種以上であることが好ましい。これは、近年における合金粉末合成技術において量産性に優れた金属組成であるからである。

【0050】

さらに、内部電極2中の金属成分は、8～10族金属がPt、Pdのうち少なくとも1種以上であり、11族金属がAg、Auのうち少なくとも1種以上であることが好ましい。これにより、耐熱性に優れ、比抵抗の小さな内部電極2を形成できる可能性がある。

【0051】

さらに、内部電極2中の金属成分は、11族金属がCuであることが好ましい。これにより、熱伝導性に優れた内部電極2を形成できる可能性があると同時に発生する内部応力を軽減できる可能性がある。

【0052】

さらに、内部電極2中の金属成分は、8～10族金属がNiであることが好ましい。これにより、耐熱性に優れた内部電極2を形成できる可能性がある。

【0053】

また、前記内部電極に前記内部電極を構成する材質と濡れ性の悪い無機組成物を添加することが好ましい。これは、濡れ性の悪い無機組成物が内部電極2にあることにより、焼成の際に、内部電極2と濡れ性が悪いので、この無機組成物の周囲の電極部分2aがはじかれ、周囲には電極部分2aの無い部分つまり空隙20が形成されることになり、空隙形成の面で有利となり、その結果、変位量を向上させることができるという点から好ましく、さらに、その無機組成物がBNを主成分とすることが好ましい。尚、無機組成物は圧電体1の表面に形成したもので良い。

【0054】

さらに、圧電体1がペロブスカイト型酸化物を主成分とすることが好ましい。これは、例えば、チタン酸バリウム(BaTiO₃)を代表とするペロブスカイト型圧電セラミックス材料等で形成されると、その圧電特性を示す圧電歪み定数d₃₃が高いことから、変位量を大きくすることができ、さらに、圧電体1と内部電極2を同時に焼成することもできる。上記に示した圧電体1としては、圧電歪み定数d₃₃が比較的高いPbZrO₃-PbTiO₃からなるペロブスカイト型酸化物を主成分とすることが好ましい。

【0055】

さらに積層体の側面に端部が露出する内部電極2と端部が露出しない内部電極2とが交互に構成されており、前記端部が露出していない内部電極2と外部電極4間の圧電体1部分に溝が形成されており、該溝に圧電体1よりもヤング率の低い絶縁体が充填されていることが、耐久性の向上の面で好ましい。

【0056】

さらに、焼成温度が900℃以上1050℃以下であることが好ましい。これは、焼成温度が900℃以下では、焼成温度が低いため焼成が不十分となり、緻密な圧電体1を作製することが困難になる。また、焼成温度が1050℃を超えると、焼成時の内部電極2の収縮と圧電体1の収縮のずれから起因した応力が大きくなり、積層型圧電素子10の連続駆動時にクラックが発生する可能性があるからである。

【0057】

また、内部電極2中の組成のずれが焼成前後で5%以下であることが好ましい。これは、内部電極2中の組成のずれが焼成前後で5%を超えると、内部電極12中の金属材料が圧電体11へのマイグレーションが多くなり、積層型圧電素子10の駆動による伸縮に対して、内部電極2が追従できなくなる可能性がある。

【0058】

ここで、内部電極2中の組成のずれとは、内部電極2を構成する元素が焼成によって蒸発、または圧電体1へ拡散することにより内部電極2の組成が変わる変化率を示している。

【0059】

また、本発明の積層型圧電素子 10 の側面に端部が露出する内部電極 2 と端部が露出しない内部電極 2 とが交互に構成されており、前記端部が露出していない内部電極 2 と外部電極 4 間の圧電体 1 部分に溝 3 が形成されており、この溝内に、圧電体 1 よりもヤング率の低い絶縁体が形成されていることが好ましい。これにより、このような積層型圧電素子 10 では、駆動中の変位によって生じる応力を緩和することができることから、連続駆動させても、内部電極 2 の発熱を抑制することができる。

【0060】

また、図 3 に示すように外部電極 4 が 3 次元網目構造をなす多孔質導電体からなるのが望ましい。外部電極 4 が 3 次元網目構造をなす多孔質導電体で構成されていなければ、外部電極 4 はフレキシブル性を有しないため、積層型圧電アクチュエータの伸縮に追従できなくなるので、外部電極 4 の断線や外部電極 4 と内部電極 2 の接点不良が生じる場合がある。ここで、3 次元網目構造とは、外部電極 4 にいわゆる球形のボイドが存在している状態を意味するのではなく、外部電極 4 を構成する導電材粉末とガラス粉末が、比較的低温で焼き付けられている為に、焼結が進みきらずにボイドがある程度連結した状態で存在し、外部電極 4 を構成する導電材粉末とガラス粉末が 3 次元的に連結、接合した状態を示唆している。

【0061】

あるいは、外部電極 4 中の空隙率が 30～70 体積％であることが望ましい。ここで、空隙率とは、外部電極 4 中に占める空隙 4a の比率である。これは、外部電極 4 中の空隙率が 30 体積％より小さければ、外部電極 4 が積層型圧電アクチュエータの伸縮によって生じる応力に耐えきれずに、外部電極 4 が断線する可能性がある。また、外部電極 4 中の空隙率が 70 体積％を超えると、外部電極 4 の抵抗値が大きくなるため、大電流を流した際に外部電極 4 が局所発熱を起こして断線してしまう可能性がある。

【0062】

また、外部電極 4 を構成するガラスの軟化点 (°C) が、内部電極 2 を構成する導電材の融点 (°C) の 4/5 以下であることが望ましい。これは、外部電極 4 を構成するガラスの軟化点が、内部電極 2 を構成する導電材の融点の 4/5 を超えると、外部電極 4 を構成するガラスの軟化点と内部電極 2 を構成する導電材の融点と同程度の温度になるため、外部電極 4 を焼き付ける温度が必然的に内部電極 2 を構成する融点に近づくので、外部電極 4 の焼き付けの際に、内部電極 2 及び外部電極 4 の導電材が凝集して拡散接合を妨げたり、また、焼き付け温度を外部電極 4 のガラス成分が軟化するのに十分な温度に設定できないため、軟化したガラスによる十分な接合強度を得ることができない場合がある。

【0063】

さらに、外部電極 4 の圧電体 1 側表層部にガラスリッチ層が形成されていることが望ましい。これは、ガラスリッチ層が存在しないと、外部電極 4 中のガラス成分との接合が困難になるため、外部電極 4 が圧電体 1 との強固な接合が容易でなくなる可能性がある。

【0064】

さらに、外部電極 4 を構成するガラスを非晶質にすることが望ましい。これは、結晶質のガラスでは、積層型圧電アクチュエータの伸縮によって生じる応力を外部電極 4 が吸収できないので、クラック等が発生する場合がある。

【0065】

さらに、外部電極 4 の厚みが圧電体 1 の厚みよりも薄いことが望ましい。これは、外部電極 4 の厚みが圧電体 1 の厚みよりも厚いと、外部電極 4 の強度が増大するため、積層体 10 が伸縮する際に、外部電極 4 と内部電極 2 の接合部の負荷が増大し、接点不良が生じる場合がある。

【0066】

さらに、外部電極 4 の外面に、金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板が埋設された導電性接着剤からなる導電性補助部材 7 を設けることが望ましい。外部電極 4 の外面に導電性補助部材 7 を設けないと、積層型圧電素子 10 に大電流を流して駆動する際に、外部電極 4 が大電流に耐えきれずに局所発熱してしまい、断線する可能性がある。

【0067】

また、外部電極4の外面にメッシュ若しくはメッシュ状の金属板を使用しないと、積層型圧電素子10の伸縮による応力が外部電極4に直接作用することにより、駆動中の疲労によって外部電極4が積層型圧電素子10の側面から剥離しやすくなる可能性がある。

【0068】

さらに、導電性接着剤が導電性粒子を分散させたポリイミド樹脂からなることが望ましい。これは、ポリイミド樹脂を使用することにより、積層型圧電素子10を高温下で駆動させる際にも、比較的高い耐熱性を有するポリイミド樹脂を使用することによって、導電性接着剤が高い接着強度を維持しやすい。

【0069】

さらに、導電性粒子が銀粉末であることが望ましい。これは、導電性粒子に比較的抵抗値の低い銀粉末を使用することによって、導電性接着剤における局所発熱を抑制しやすい。

【0070】

また、本発明の積層型圧電素子10は単板あるいは積層数が1またはそれ以上からなることが好ましい。これにより、素子に加えられた圧力を電圧に変換することも、素子に電圧を加えることで素子を変位させることもできるため、素子駆動中に予期せぬ応力を加えられたとしても、応力を分散して電圧変換することで、応力緩和させることができるので、耐久性に優れた高信頼性の圧電アクチュエータを提供することができる。

【0071】

次に、本発明の積層型圧電素子10の製法を説明する。

【0072】

本発明の積層型圧電素子10は、まず、 $PbZrO_3-PbTiO_3$ 等からなるペロブスカイト型酸化物の圧電セラミックスの仮焼粉末と、アクリル系、ブチラル系等の有機高分子から成るバインダーと、DOP（フタル酸ジオチル）、DBP（フタル酸ジブチル）等の可塑剤とを混合し、かつ、上記不純物の範囲としたスラリーを作製し、該スラリーを周知のドクターブレード法やカレンダーロール法等のテープ成型法により圧電体1となるセラミックグリーンシートを作製する。

【0073】

次にこのグリーンシートを適当な大きさにカットし、枠に固定する。

【0074】

次に、銀-パラジウム等の内部電極2を構成する金属粉末にバインダー、可塑剤等を添加混合して導電性ペーストを作製し、これを前記各グリーンシートの上面にスクリーン印刷等によって $1\sim 40\mu m$ の厚みに印刷する。この際、内部電極を構成する金属粉末は、焼成後に内部電極2に空隙ができるように、融点の異なる2種以上の材料を用いることが重要であり、材料としては金属または合金であることが好ましい。そして、内部電極2を構成する金属または合金の最も低い融点以上、且つ他の金属の融点以下の温度で仮焼すると、融点以上になって融けた金属または合金が毛管現象により、内部電極中の空孔に移動し、移動した部分が空隙になるため、本発明の空隙を有する内部電極2を作製することができる。尚、前記空隙は、例えば、前記導電性ペーストを調製する際に前記金属粉末間にできる僅かな隙間、または前記バインダー部分が脱バインダーにより生じた隙間等により形成することができる。

【0075】

また、この他にも、内部電極2を構成する材質に、該材質と濡れ性の悪い材質を添加して空隙20を形成しても良い。さらに、内部電極2が印刷されるグリーンシート面に内部電極2を構成する材質と濡れ性の悪い材質を設けることでも空隙20を形成することもできる。

【0076】

次に、同様に銀-パラジウム等の焼結助剤となる成分を含むダミー層をグリーンシートの上にスクリーン印刷等によって $1\sim 40\mu m$ 印刷し、不活性層9用のグリーンシ

トを用意する。

【0077】

そして、上面に導電性ペーストが印刷されたグリーンシートと不活性層 9 用のグリーンシートを積層型圧電素子の端部に不活性層 9 がくるように複数積層し、同時に圧力をかけて密着させる。

【0078】

この後、グリーンシートを適当な大きさにカットし、所定の温度で脱バインダーを行った後、900～1050℃で焼成することによって積層型圧電素子 10 が作製される。焼成の際に、内部電極を構成する金属または合金のうち、融点の低い金属または合金の融点以上で 2 番目に低い金属または合金の融点より低温で温度を保持した後に昇温し焼成することが重要である。

【0079】

なお、積層型圧電素子 10 は、上記製法によって作製されるものに限定されるものではなく、内部電極に空隙を作る方法であれば、どのような製法によって形成されても良い。

【0080】

その後、積層型圧電素子 10 の側面に端部が露出する内部電極 2 と端部が露出しない内部電極 2 とを交互に形成して、端部が露出していない内部電極 2 と外部電極 4 間の圧電体 1 部分に溝 3 を形成して、この溝 3 内に、圧電体 1 よりもヤング率の低い、樹脂またはゴム等の絶縁体を形成する。ここで、外部電極 4 を構成する導電材は積層型圧電素子 10 の伸縮によって生じる応力を十分に吸収するという点から、ヤング率の低い銀、若しくは銀が主成分の合金が望ましい。

【0081】

また、ガラス粉末に、バインダーを加えて銀ガラス導電性ペーストを作製し、これをシート状に成形し、乾燥した（溶媒を飛散させた）シートの生密度を $6 \sim 9 \text{ g/cm}^3$ に制御し、このシートを、積層型圧電素子 10 の外部電極形成面に転写し、ガラスの軟化点よりも高い温度、且つ銀の融点（965℃）以下の温度で、且つ焼成温度（℃）の $4/5$ 以下の温度で焼き付けを行うことにより、銀ガラス導電性ペーストを用いて作製したシート中のバインダー成分が飛散消失し、3次元網目構造をなす多孔質導電体からなる外部電極 4 を形成することができる。

【0082】

なお、前記銀ガラス導電性ペーストの焼き付け温度は、ネック部を有効的に形成し、銀ガラス導電性ペースト中の銀と内部電極 2 を拡散接合させ、また、外部電極 4 中の空隙を有効に残存させ、さらには、外部電極 4 と積層型圧電素子 10 側面とを部分的に接合させるという点から、550～700℃が望ましい。また、銀ガラス導電性ペースト中のガラス成分の軟化点は、500～700℃が望ましい。

【0083】

焼き付け温度が700℃より高い場合には、銀ガラス導電性ペーストの銀粉末の焼結が進みすぎ、有効的な3次元網目構造をなす多孔質導電体を形成することができず、外部電極 4 が緻密になりすぎてしまい、結果として外部電極 4 のヤング率が高くなりすぎ駆動時の応力を十分に吸収することができず外部電極 4 が断線してしまう可能性がある。好ましくは、ガラスの軟化点の 1. 2 倍以内の温度で焼き付けを行った方がよい。

【0084】

一方、焼き付け温度が550℃よりも低い場合には、内部電極 2 端部と外部電極 4 の間で十分に拡散接合がなされないために、ネック部が形成されず、駆動時に内部電極 2 と外部電極 4 の間でスパークを起こしてしまう可能性がある。

【0085】

なお、銀ガラス導電性ペーストのシートの厚みは、圧電体 1 の厚みよりも薄いことが望ましい。さらに好ましくは、アクチュエータの伸縮に追従するという点から、50 μm 以下がよい。

【0086】

次に、外部電極 4 を形成した積層型圧電素子 10 をシリコンゴム溶液に浸漬するとともに、シリコンゴム溶液を真空脱気することにより、積層型圧電素子 10 の溝 3 内部にシリコンゴムを充填し、その後シリコンゴム溶液から積層型圧電素子 10 を引き上げ、積層型圧電素子 10 の側面にシリコンゴムをコーティングする。その後、溝 3 内部に充填、及び柱状積層型圧電素子 10 の側面にコーティングした前記シリコンゴムを硬化させることにより、本発明の積層型圧電素子 10 が完成する。

【0087】

そして、外部電極 4 にリード線 6 を接続し、該リード線 6 を介して一对の外部電極 4 に 0.1~3 kV/mm の直流電圧を印加し、圧電層 13 を分極処理することによって、本発明の積層型圧電素子 10 を利用した積層型圧電アクチュエータが完成し、リード線 6 を外部の電圧供給部に接続し、リード線及び外部電極 4 を介して内部電極 2 に電圧を印加せれば、各圧電体 1 は逆圧電効果によって大きく変位し、これによって例えばエンジンに燃料を噴射供給する自動車用燃料噴射弁として機能する。

【0088】

さらに、図 3 に示すように外部電極 4 の外面に、金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板が埋設された導電性接着剤からなる導電性補助部材 7 を形成してもよい。この場合には、外部電極 4 の外面に導電性補助部材 7 を設けることによりアクチュエータに大電流を投入し、高速で駆動させる場合においても、大電流を導電性補助部材 7 に流すことができ、外部電極 4 に流れる電流を低減できるという理由から、外部電極 4 が局所発熱を起こし断線することを防ぐことができ、耐久性を大幅に向上させることができる。さらには、導電性接着剤中に金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板を埋設しているため、前記導電性接着剤にクラックが生じるのを防ぐことができる。

【0089】

金属のメッシュとは金属線を編み込んだものであり、メッシュ状の金属板とは、金属板に孔を形成してメッシュ状にしたものをいう。

【0090】

さらに、前記導電性補助部材 7 を構成する導電性接着剤は銀粉末を分散させたポリイミド樹脂からなることが望ましい。即ち、比抵抗の低い銀粉末を、耐熱性の高いポリイミド樹脂に分散させることにより、高温での使用に際しても、抵抗値が低く且つ高い接着強度を維持した導電性補助部材 7 を形成することができる。さらに望ましくは、前記導電性粒子はフレーク状や針状などの非球形の粒子であることが望ましい。これは、導電性粒子の形状をフレーク状や針状などの非球形の粒子とすることにより、該導電性粒子間の絡み合いを強固にすることができ、該導電性接着剤のせん断強度をより高めることができるためである。

【0091】

本発明の積層型圧電素子 10 はこれらに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲であれば種々の変更は可能である。

【0092】

また、上記では、積層型圧電素子 10 の対向する側面に外部電極 4 を形成した例について説明したが、本発明では、例えば隣設する側面に一对の外部電極を形成してもよい。

【0093】

図 4 は、本発明の噴射装置を示すもので、収納容器 31 の一端には噴射孔 33 が設けられ、また収納容器 31 内には、噴射孔 33 を開閉することができるニードルバルブ 35 が収容されている。

【0094】

噴射孔 33 には燃料通路 37 が連通可能に設けられ、この燃料通路 37 は外部の燃料供給源に連結され、燃料通路 37 に常時一定の高圧で燃料が供給されている。従って、ニードルバルブ 35 が噴射孔 33 を開放すると、燃料通路 37 に供給されていた燃料が一定の高圧で内燃機関の図示しない燃料室内に噴出されるように形成されている。

【0095】

また、ニードルバルブ 35 の上端部は直径が大きくなっており、収納容器 31 に形成されたシリンダ 39 と摺動可能なピストン 41 となっている。そして、収納容器 31 内には、上記した圧電アクチュエータ 43 が収納されている。

【0096】

このような噴射装置では、圧電アクチュエータ 43 が電圧を印加されて伸長すると、ピストン 41 が押圧され、ニードルバルブ 35 が噴射孔 33 を閉塞し、燃料の供給が停止される。また、電圧の印加が停止されると圧電アクチュエータ 43 が収縮し、皿バネ 45 がピストン 41 を押し返し、噴射孔 33 が燃料通路 37 と連通して燃料の噴射が行われるようになっている。

【0097】

また、本発明は、積層型圧電素子 10 および噴射装置に関するものであるが、上記実施例に限定されるものではなく、例えば、自動車エンジンの燃料噴射装置、インクジェット等の液体噴射装置、光学装置等の精密位置決め装置や振動防止装置等に搭載される駆動素子、または、燃焼圧センサ、ノックセンサ、加速度センサ、荷重センサ、超音波センサ、感圧センサ、ヨーレートセンサ等に搭載されるセンサ素子、ならびに圧電ジャイロ、圧電スイッチ、圧電トランス、圧電ブレーカー等に搭載される回路素子以外であっても、圧電特性を用いた素子であれば、実施可能であることは言うまでもない。

【実施例】

【0098】

本発明の積層型圧電素子からなる積層型圧電アクチュエータを以下のようにして作製した。

【0099】

(実験例) まず、チタン酸ジルコン酸鉛 ($\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$) を主成分とする圧電セラミックの仮焼粉末、バインダー、及び可塑剤を混合したスラリーを作製し、ドクターブレード法で厚み $150\text{ }\mu\text{m}$ の圧電体 1 になるセラミックグリーンシートを作製した。

【0100】

このセラミックグリーンシートの片面に、任意の組成比で形成された銀-パラジウム合金に Ag とバインダーを加えた導電性ペーストをスクリーン印刷法により $4\text{ }\mu\text{m}$ の厚みに印刷した。これらシートを 300 枚積層体用として用意した。これとは別に保護層になるグリーンシートを用意し、これらを下から保護層 30 枚、積層体 300 枚、保護層 30 枚となるように積層し、プレスした後、脱脂をし、Ag の融点以上で一旦温度を保持した後、 1000°C で最終焼成した。また、この他にも Ag にバインダーを加えた導電性ペーストに BN を添加し、同様の工程を経ることにより、比較的空隙 20 の割合が大きい内部電極 2 を得た。更に、Cu にバインダーを加えた導電性ペースト、Ni にバインダーを加えた導電性ペーストも同様に、スクリーン印刷法により $4\text{ }\mu\text{m}$ の厚みに印刷した。これらシートを 300 枚積層体用として用意した。これとは別に保護層になるグリーンシートを用意し、これらを下から保護層 30 枚、積層体 300 枚、保護層 30 枚となるように積層し、プレスした後、脱脂をし、それぞれの導電性ペーストが含有する金属の融点以上で一旦温度を保持した後、さらに昇温して最終焼成した。

【0101】

その後、ダイシング装置により積層体の側面の内部電極 2 の端部に一層おきに深さ $50\text{ }\mu\text{m}$ 、幅 $50\text{ }\mu\text{m}$ の溝を形成した。

【0102】

次に、平均粒径 $2\text{ }\mu\text{m}$ のフレーク状の銀粉末を 90 体積%と、残部が平均粒径 $2\text{ }\mu\text{m}$ のケイ素を主成分とする軟化点が 640°C の非晶質のガラス粉末 10 体積%との混合物に、バインダーを銀粉末とガラス粉末の合計質量 100 質量部に対して 8 質量部添加し、十分に混合して銀ガラス導電性ペーストを作製した。このようにして作製した銀ガラス導電性ペーストを離型フィルム上にスクリーン印刷によって形成し、乾燥後、離型フィルムより剥がして、銀ガラス導電性ペーストのシートを得た。このシートの生密度をアルキメデス

法にて測定したところ、 6.5 g/cm^3 であった

そして、銀ガラスペーストのシートを積層体の外部電極面に転写し、 650°C で 30 分焼き付けを行い、3 次元網目構造をなす多孔質導電体からなる外部電極 4 を形成した。なお、この時の外部電極 4 の空隙率は、外部電極 4 の断面写真の画像解析装置を用いて測定したところ 40 % であった。

【0103】

その後、外部電極 4 にリード線を接続し、正極及び負極の外部電極にリード線を介して 3 kV/mm の直流電界を 15 分間印加して分極処理を行い、図 1 に示すような積層型圧電素子を用いた積層型圧電アクチュエータを作製した。

【0104】

得られた積層型圧電素子に 170 V の直流電圧を印加した結果、表 1 に示すような変位量が得られた。さらに、この積層型圧電素子に室温で $0 \sim +170 \text{ V}$ の交流電圧を 150 Hz の周波数にて印加し駆動試験を行った。

【0105】

そして、この積層型圧電素子が駆動回数 1×10^9 回まで連続のテストを行って、その時点で積層型圧電素子に 170 V の直流電圧を印加し、変位量を測定し、駆動試験前後での変位量の変化を算出した。駆動試験前後での変位量の変化は、駆動試験前後での変位の差の絶対値を駆動試験前の変位量で除して 100 倍したものを示した。

【0106】

尚、空隙率、空隙の最大幅ならびに角度は、以下のようにして測定した。

【0107】

空隙率は積層型圧電素子を積層方向に切断した面で測定した。その切断面において、内部電極 2 に存在する空隙 20 の面積を測定し、その空隙 20 の面積の総和を内部電極 2 の面積（空隙も含む）で除した値を 100 倍したものである。測定は任意の 5 箇所以上で行いその平均値を空隙率とした。また、最大幅は、積層型圧電素子 10 の積層方向の断面において、内部電極 2 の断面に存在する空隙 20 の大きさを電極に平行な線を引きその線上の長さを測定し、測定値で最大の値を最大幅とした。測定は任意の 10 箇所で行いすべての結果から最も大きい物を最大幅とした。最後に、内部電極 2 における電極部分 2a と空隙 20 との界面が圧電体 1 に接する部分を起点とし、該起点から電極部分 2a への接線と圧電体 1 とのなす角度 24 の測定は、積層型圧電素子 10 の積層方向の断面において、任意の 10 箇所、任意の 10 個の角度を測定し、その平均値を計算し、代表値として示した。結果を表 1 に示す。

【表 1】

No.	空隙率(%)	空隙の最大幅(μm)	内部電極への 接線と圧電 体のなす角度 (度)	内部電極の主成分	初期の 変位量 (μm)	駆動試験前 後での変位 量の変化率 (%)
*1	4	1	40	95Ag-5Pd	43	1.1
2	5	16	50	95Ag-5Pd	48	0.8
3	7	17	80	95Ag-5Pd	50	0.5
4	10	18	80	95Ag-5Pd	53	0.3
5	29	19	80	95Ag-5Pd	57	0.1
6	48	20	80	95Ag-5Pd	57	0
7	60	22	80	95Ag-5Pd	53	0.1
8	70	23	80	95Ag-5Pd	50	0.4
*9	80	43	80	95Ag-5Pd	43	1.0
10	30	1	80	95Ag-5Pd	50	0.6
11	30	2	80	95Ag-5Pd	55	0.4
12	31	3	80	95Ag-5Pd	57	0.3
13	32	5	80	95Ag-5Pd	57	0.1
14	31	11	80	95Ag-5Pd	57	0.1
15	31	20	80	95Ag-5Pd	57	0
16	32	29	80	95Ag-5Pd	57	0
17	30	52	80	95Ag-5Pd	55	0.3
18	31	100	80	95Ag-5Pd	52	0.5
19	32	300	80	95Ag-5Pd	52	0.5
20	29	20	50	95Ag-5Pd	48	0.7
21	30	21	60	95Ag-5Pd	54	0.5
22	30	22	70	95Ag-5Pd	55	0.2
23	32	20	80	95Ag-5Pd	57	0
24	30	22	90	95Ag-5Pd	57	0.1
25	31	20	120	95Ag-5Pd	55	0.2
26	30	21	150	95Ag-5Pd	53	0.4
27	32	20	80	99.9Ag-0.1Pd	55	0.3
28	30	19	80	99.5Ag-0.5Pd	57	0.1
29	29	20	80	99Ag-1Pd	57	0
30	30	22	80	95Ag-5Pd	57	0
31	32	21	80	92Ag-8Pd	57	0
32	30	22	80	90Ag-10Pd	55	0.1
33	31	20	80	85Ag-15Pd	55	0.2
34	32	21	80	80Ag-20Pd	53	0.4
35	30	20	80	70Ag-30Pd	52	0.5
36	29	22	80	60Ag-40Pd	52	0.5
37	32	20	80	100Cu	56	0.1
38	30	21	80	100Ni	55	0.1

*: 本発明の範囲外

【0108】

同表より、比較例である試料No. 1は、内部電極2の空隙率が5%未満であったため、内部電極2が圧電体1を拘束する力が大きくなったため、初期の変位量が著しく小さくなるとともに、連続駆動試験前後での変位量の変化率が1.1%と耐久性も低下した。また、試料No. 9は、内部電極2の空隙率が70%を超えたため、圧電体1に所望の電圧を印加できず、初期の変位量が低下したとともに、連続駆動させると、内部電極2の強度低下に伴い、耐久性も低下した。

【0109】

これらに対して、内部電極2に5~70%の空隙20を有する本発明の試料No. 2~8、10~38は、初期の変位量が48 μm 以上で比較例No. 1、9に比べて変位量が大きく、積層型圧電素子10として優れていることがわかった。また、本発明の試料No. 2~8、10~38は、連続駆動試験前後の変位量の変化率が0.8%以下で比較例No. 1、9に比べて小さく、耐久性の面でも本発明品が優れていることがわかった。

【0110】

特に、空隙 2 0 の最大幅が $1 \mu\text{m}$ 以上、または内部電極 2 における電極部分 2 a と空隙 2 0 との界面が圧電体 1 に接する部分を起点とし、該起点から電極部分 2 a への接線と圧電体 1 とのなす角度 2 4 が 60° 以上である試料 No. 3 ~ 8、1 0 ~ 1 9、2 1 ~ 3 8 は、初期の変位量が $50 \mu\text{m}$ 以上と大きく、また、連続駆動試験前後での変化率が 0. 6 % 以下と小さく、積層型圧電素子として変位特性と耐久性においても優れることがわかった。

【図面の簡単な説明】

【0 1 1 1】

【図 1】本発明の積層型圧電素子を示すもので、(a) は斜視図、(b) は断面図である。

【図 2】本発明の積層型圧電素子の圧電体間に配された内部電極の拡大断面図である。

【図 3】本発明の積層型圧電素子の変形例を示すもので、(a) は斜視図、(b) は断面図である。

【図 4】本発明の噴射装置を示す説明図である。

【図 5】従来の積層型圧電素子を示すもので、(a) は断面図、(b) は内部電極付近の拡大断面図である。

【符号の説明】

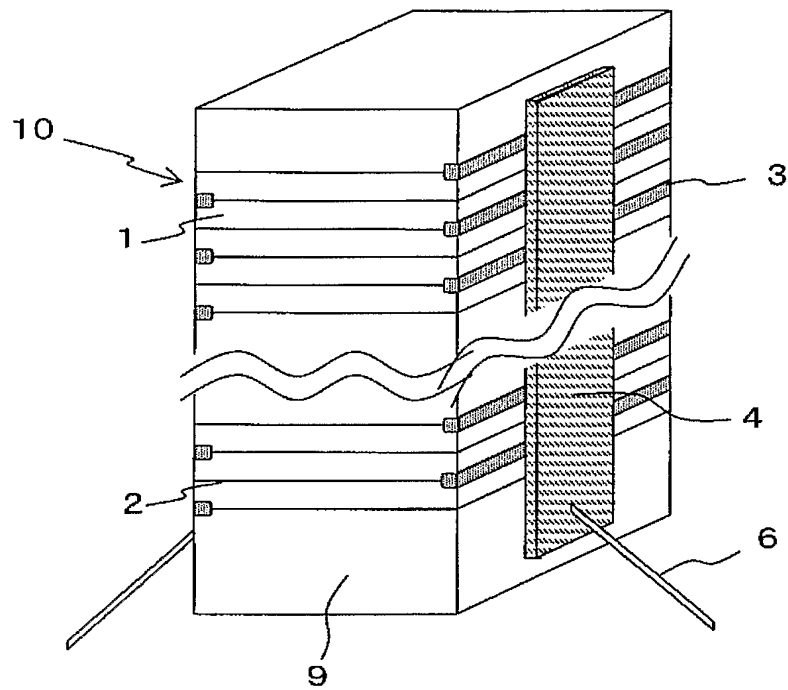
【0 1 1 2】

- 1 . . . 圧電体
- 2 . . . 内部電極
- 2 a . . . 電極部分
- 3 . . . 溝
- 4 . . . 外部電極
- 6 . . . リード線
- 7 . . . 導電性補助部材
- 9 . . . 不活性層
- 1 0 . . . 積層型圧電体素子
- 2 0 . . . 空隙
- 2 2 . . . 内部電極と空隙の界面が圧電体に接する部分を起点とする内部電極への接線
- 2 4 . . . 内部電極と空隙の界面が圧電体に接する部分を起点とする内部電極への接線と圧電体のなす角
- 3 1 . . . 収納容器
- 3 3 . . . 噴射孔
- 3 5 . . . バルブ
- 4 3 . . . 圧電アクチュエータ
- 5 1 . . . 圧電体
- 5 2 . . . 内部電極
- 5 3 . . . 積層型圧電素子
- 5 4 . . . 外部電極
- 5 5 . . . 不活性層
- 5 6 . . . リード線
- 6 1 . . . 絶縁層

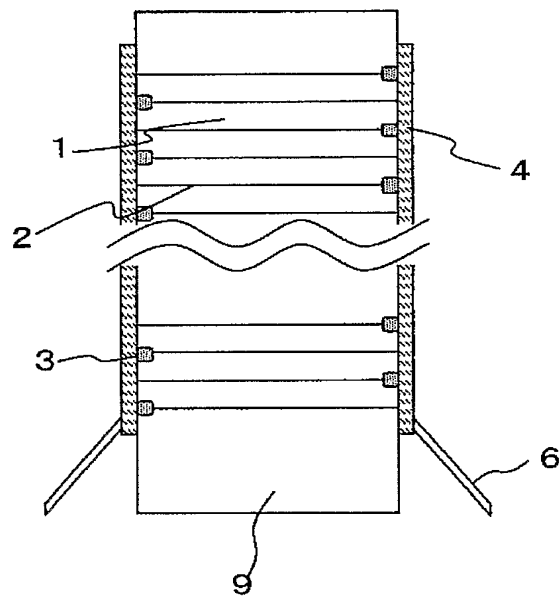
【書類名】図面

【図 1】

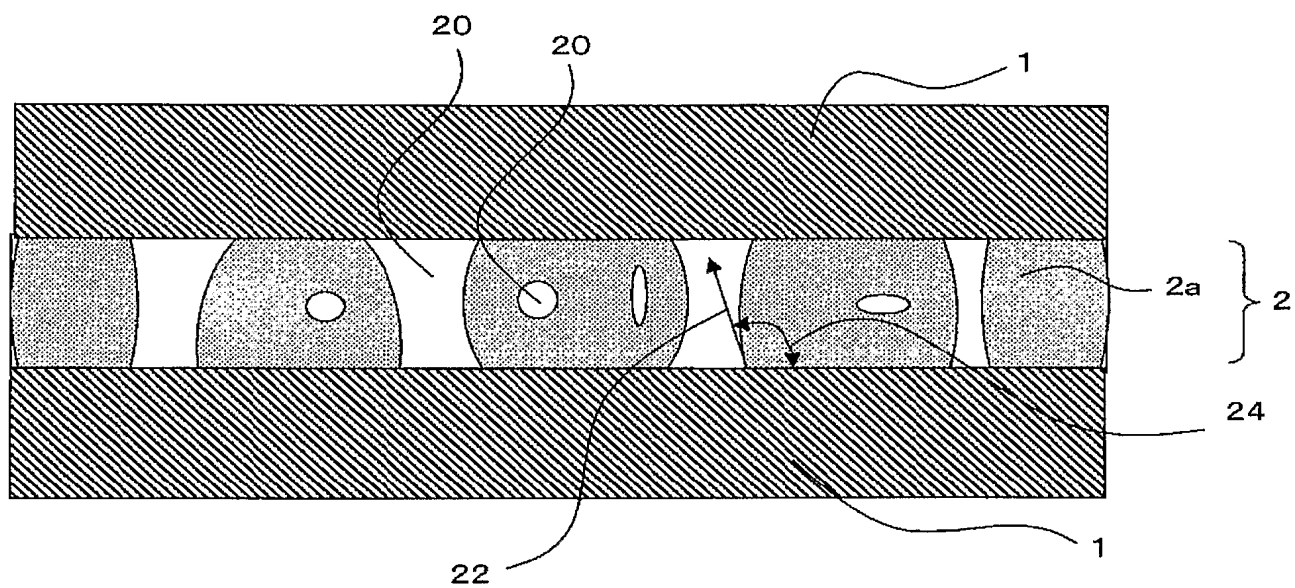
(a)



(b)

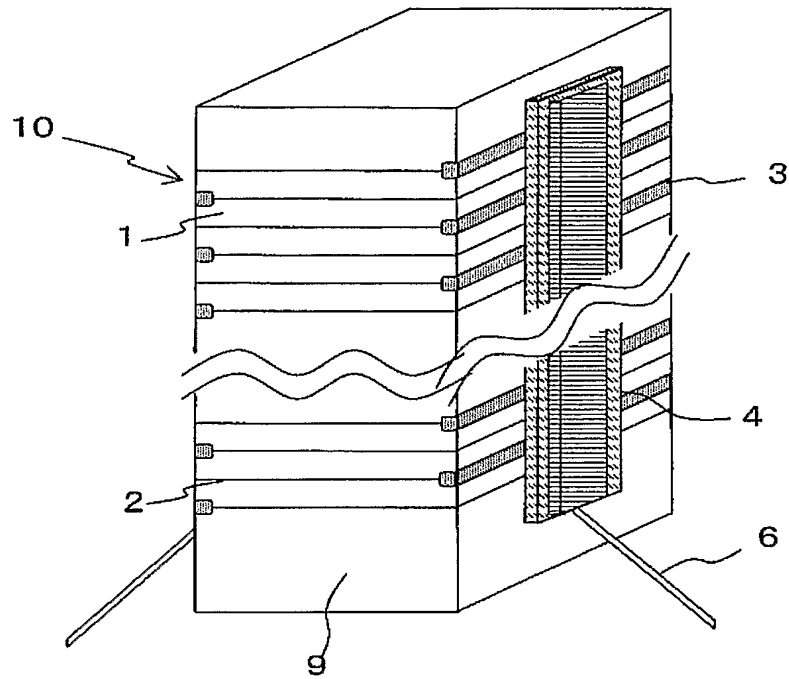


【図 2】

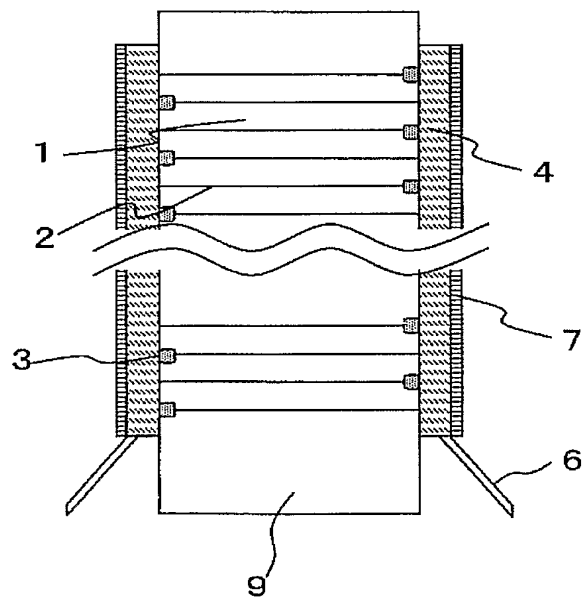


【図 3】

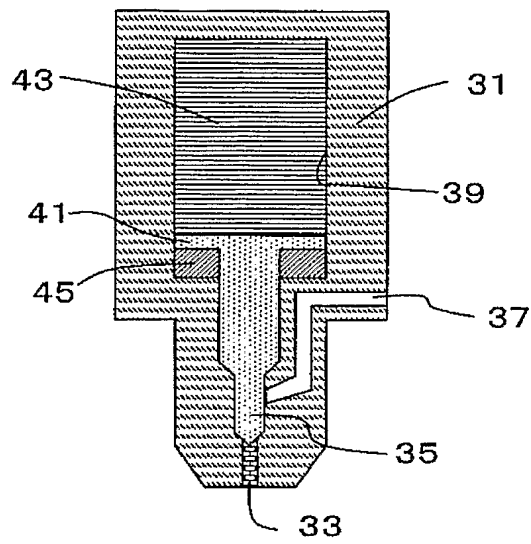
(a)



(b)

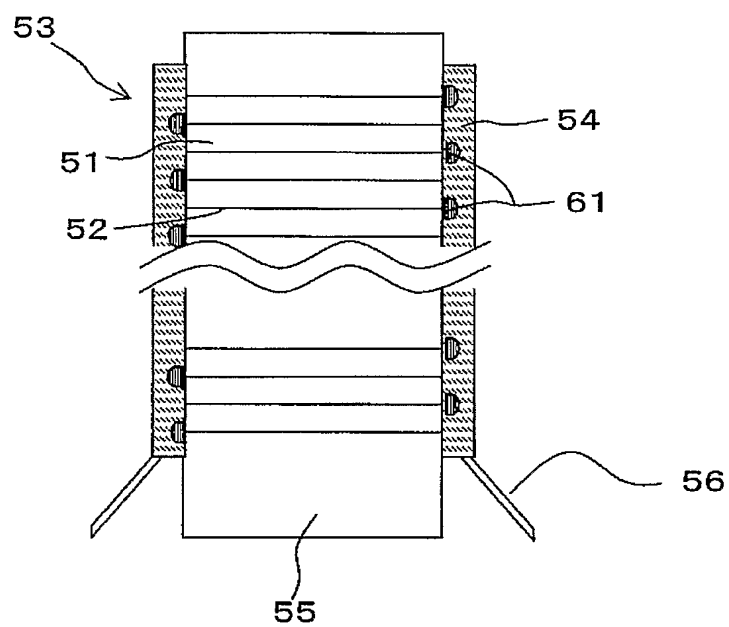


【図 4】

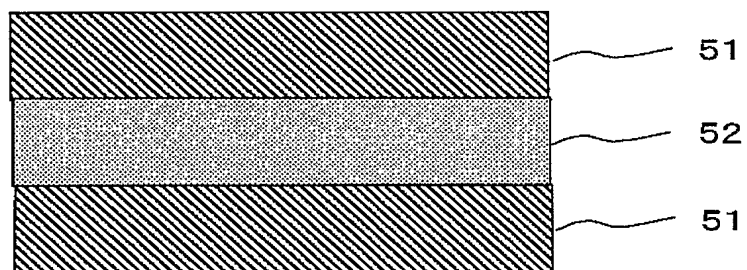


【図 5】

(a)



(b)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高電圧、高圧力下で長時間連続駆動させた場合でも、所望の変位量と耐久性に優れた積層型圧電素子およびその製法ならびにそれを用いた噴射装置を提供する。

【解決手段】 少なくとも 1 つの圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体を有し、該積層体の側面に前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極を具備し、該外部電極に電界を印加して駆動する積層型圧電素子において、前記内部電極の面積に対して 5 ～ 7 0 % を占める空隙を内部電極中に設ける。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 4 - 1 5 8 4 5 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 6 6 3 3]

1. 変更年月日 1 9 9 8 年 8 月 2 1 日

[変更理由]

住所変更

住 所

京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地

氏 名

京セラ株式会社